

A stylized illustration of a volcano in red and black. The volcano's cone is at the bottom, and a plume of smoke or ash rises from it. Within the plume, there is a red silhouette of a person in a dynamic, almost dancing pose. The background is black.

ВОСЬМАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**«ВУЛКАНИЗМ,  
БИОСФЕРА  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ»**

СБОРНИК  
МАТЕРИАЛОВ

Майкоп – Туапсе  
2016

# Секция 1. ВУЛКАНИЗМ И БИОСФЕРА

## ТЕМА 1.

### ВУЛКАНИЗМ КАК КОСМИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ. РОЛЬ ВУЛКАНИЗМА В ФОРМИРОВАНИИ ВНЕШНИХ ОБОЛОЧЕК ЗЕМЛИ: ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ, БИОСФЕРЫ (ЭКОСФЕРЫ)

#### Fe-Mg И МИКРОЭЛЕМЕНТНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ В КАМЧАТСКИХ ОЛИВИНАХ

ГОРДЕЙЧИК Б.Н.<sup>1</sup>, ЧУРИКОВА Т.Г.<sup>2</sup>, КРОНЦ А.<sup>3</sup>, СИМАКИН А.Г.<sup>1</sup>, ВЁРНЕР Г.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка,  
gordei@mail.ru; simakin@iem.ac.ru

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-  
Камчатский, tchurikova@mail.ru

<sup>3</sup>Отделение геохимии Центра геологических наук Гёттингенского  
университета, Гёттинген, Германия, akronz@gwdg.de; gwoerne@gwdg.de

В геохимии и петрологии существует понимание основных магматических процессов, которые вызывают дифференциацию и смешение магм до извержения. Химическая зональность в оливинах и ее моделирование как процесса диффузии могут использоваться для оценки времени нахождения магмы в очаге и ее подъема к поверхности до извержения [1, 2].

Фундаментальное представление заключается в том, что смешение с вновь поступившей в очаг магмой приводит к диффузии между кристаллами высоко-Mg оливинов и более фракционированным расплавом. Если глубина смешения известна, можно вычислить скорость подъема магмы к поверхности. Последнее десятилетие явилось периодом интенсивных исследований, направленных на понимание скоростей протекания таких процессов, как дифференциация, ассимиляция, смешение и извержение. Однако большинство исследований фокусируется на приповерхностных частях магматических питающих систем. Тем не менее, вопрос, как быстро мантийные расплавы проходят через всю кору от глубинного мантийного источника до поверхности, до сих пор остается не решенным. Важной публикацией, которая является первой попыткой решения этой проблемы для островодужного вулканизма, является [2, с. 68], в которой использовалось моделирование диффузии Ni в оливинах вулкана Ирасу на Коста-Рике. Согласно полученным результатам, мантийные магмы могут поступать в промежуточные очаги и извергаться на земную поверхность в период от нескольких месяцев до нескольких лет, т.е. даже в течение периода извержения.

Мы представляем первые данные по исследованию зональности в оливинах из лав активных вулканов Камчатки: (1) базальт моногенного извержения

вулкана Толбачик 1941 года, (2) породы извержения Толбачика 2012-2013 гг. из прорывов Меняйлова и Набоко, (3) лава вершинного извержения Ключевского вулкана 2013 года, (4) базальт дайки вулкана Шивелуч, (5) базальт маара на вулкане Шивелуч. Для оценки  $P$ - $T$ - $fO_2$  условий кристаллизации мы использовали алгоритмы из [3, 4, 5, 6, 7]. Коэффициент диффузии  $Fe$ - $Mg$  и его зависимость от  $T$ ,  $P$ ,  $fo$  и  $fO_2$  рассчитывались по работе [8].

#### 1. Извержение вулкана Толбачик 1941 года

Все оливины из лав извержения вулкана Толбачик 1941 года обнаруживают диффузионную зону на краях кристаллов шириной 30-50 мкм, которая полностью соответствует классическому аналитическому решению диффузионного уравнения.

Все оливины имеют одинаковое распределение как для макро-, так и для микроэлементов.  $Mn$  положительно коррелирует с  $Fe$ . Внутренние части кристаллов формируют отдельные группы по  $Cr$ ,  $Ca$  и  $P$ , но не имеют явных трендов во внешних частях оливиновых ядер, проявляя большую дисперсию в краевых частях зерен с нерегулярными максимумами для  $Ca$  и  $P$ .

Время диффузии составило 40-390 дней, а скорость подъема магмы 2-6 м/ч.

#### 2. Трещинное извержение вулкана Толбачик в 2012-2013 гг.

Оливины из прорыва Меняйлова и Набоко имеют характерные зоны диффузии шириной 20 и 40 мкм, соответственно. Оцененное время подъема магмы для этих лав составило 100-230 дней при скорости подъема 0.4-0.9 м/ч для прорыва Меняйлова и 30 – 80 дней при скорости подъема 1-3 м/ч для прорыва Набоко.

#### 3. Вершинное извержение Ключевского вулкана 2013 г.

Оливины извержения Ключевского вулкана 2013 г. показывают обратную зональность по  $Fe$ - $Mg$ . Резко нерегулярное поведение  $Ni$  (также для  $Cr$ ,  $Co$ ,  $Al$  и  $P$ ) от центров к краям зерен предполагает отсутствие значительной роли диффузии в оливинах этого извержения. Если размер зоны диффузии менее 5 мкм, то максимальное время диффузии может быть оценено как 6-20 дней при скорости подъема магмы 30-60 м/ч.

Согласно нашим данным, оливин  $fo=75$ -75.5 должен быть в равновесии с расплавом. Отсутствие диффузии в краевой части указывает на то, что эта ассоциация оливинов появилась непосредственно перед извержением.

#### 4. Базальт дайки на вулкане Шивелуч

Во всех оливинах базальта дайки вулкана Шивелуч наблюдается однотипное распределение  $Fe$ - $Mg$ : плоское плато с постоянным  $fo$  во внутренних частях ядер и два линейных градиента – один во внутреннем ядре, и другой в краевой части зерна [11].

Мы считаем, что внутренние части ядер с  $fo=89.5$ -92.5 были смешаны с другим, также высоко- $Mg$  расплавом, из которого кристаллизовались внешние ядра с  $fo=91$ -92, причем благодаря фракционной кристаллизации магнезиальность уменьшалась к краю до  $fo=88$ . В течение второго события смешения эти зерна попали в низкомагнезиальный расплав, который был в равновесии с  $fo=75$ .

Время, прошедшее после попадания зерен в низкомагнезиальный расплав, можно оценить в 260 – 620 дней при скорости подъема магмы 2.3 - 3.5 м/ч.

## 5. Базальт маара на вулкане Шивелуч

Оливиновые зерна из базальта маара на вулкане Шивелуч обнаруживают сложную повторяющуюся зональность, которая указывает на значительные изменения состава окружающего расплава в ходе роста оливинов. Насколько известно авторам, до настоящего времени такие сложно зональные оливины не встречались в субдукционных обстановках.

Чтобы объяснить полученные данные, мы рассматриваем следующие последовательные события: сформировавшиеся внутренние ядра оливинов с  $Fo=92$  и  $Ni=0.5$  вес. % попадают в расплав, находящийся в равновесии с  $Fo=87$  и  $Ni=0.35$  вес. %. Для того, чтобы оценить время, прошедшее после первого события, проводилось численное моделирование диффузии Fe-Mg и Ni в сфере диаметром 300 мкм, соответствующей средним размерам оливинов. Полученный результат составляет 320-1400 дней. Затем оливиновые ядра попадают в расплав, уравновешенный с  $Fo=89-90$  и обрастают внешним ядром, причем благодаря фракционной кристаллизации магнезиальность уменьшалась к краю до  $Fo=87$ . И, наконец, эти оливины попадают в расплав, находящийся в равновесии с  $Fo=82-84$ . Оцененное время, прошедшее после этого события, составляет 130-530 дней, а скорость подъема магмы 2-5 м/ч.

Выводы:

1) Измеренные профили зональности в оливинах Камчатки меняются от простых до необычно сложных и различаются на разных вулканах, демонстрируя прямую, обратную и повторяющуюся зональности, указывая на значительные изменения в составах магм.

2) События смещения могут наблюдаться как на мантийном уровне (Толбачик 1941 и базальты Шивелуча), так и в коровых очагах (Ключевской 2013 и Толбачик 2012-2013).

3) Время нахождения кристаллов оливинов в очагах до извержения после событий смещения меняется от 6 до 225 дней для извержений из коровых магматических очагов и от 39 до 621 дня для смещения на мантийном уровне. Скорости подъема магмы при этом меняются от 1 до 62 м/ч.

*Работа поддержана грантами РФФИ № 13-05-92104 ЯФ и 16-55-12040 ПНИО\_а.*

## Литература

- [1] Chakraborty S. (2010) Rev. Mineral. Geochem. 72: 603-639.
- [2] Ruprecht P. & Plank T. (2013) Nature, 500 (7460): 68-72.
- [3] Loucks R.R. (1996) Contrib. Mineral. Petrol. 125: 140-150.
- [4] Putirka K. et al. (1996) Contrib. to Mineral. Petrol. 123(1): 92-108.
- [5] Putirka K. (2008) In: Minerals, Inclusions and Volcanic Processes, Rev. Mineral. Geochem. 69: 61-120.
- [6] Danyushevsky L., Plechov P. (2011) Geochem. Geophys. Geosys. 12(7): 1-32.
- [7] Simakin A. et al. (2013) Mineral. Mag. 77: 2213.
- [8] Costa F. Morgan D. (2011) In: Timescales of magmatic processes. Blackwell publishing Ltd, 125-159.
- [9] Plechov P. et al. (2015) J. Volcan. Geoth. Res. 307: 182-199.
- [10] Миронов Н.Л. (2009) Автореф. канд. дисс. Москва, МГУ.
- [11] Gordeychik B. et al. G (2016). Geophys. Res. Abs., 18, EGU2016-12839.
- [12] Gorbach N. et al. (2013) J. Volcan. Geoth. Res. 263: 193-208.